



**Business Intelligence**

**PUC**  
RIO

*Cylan Marques Delgado*

*Planejamento e Otimização de Espaço em  
Tanques utilizando Algoritmos Genéticos*

*Estudo de Caso*

*Monografia de Final de Curso*

*05/07/2016*

***Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica  
da PUC/Rio como parte dos requisitos para a obtenção do  
título de Especialização em Business Intelligence.***

***Orientador:***

Leonardo Alfredo Forero Mendonza

---

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Cylan Delgado e Georgina Marques Delgado, pela dedicação integral na educação e formação de seus filhos.

Ao meu irmão Cyd Marques Delgado (“in memoriam”) pela sua prontidão e enorme habilidade em me transmitir seus conhecimentos.

À minha querida e amada esposa Crismarie Casper Hackenberg pelo apoio incondicional, incentivo e inspiração.

## **Agradecimentos**

Aos professores do curso BI-Master 2015.1, pelo empenho, entusiasmo e sabedoria com que transmitiram seus conhecimentos, em especial ao meu orientador, Leonardo Alfredo Forero Mendoza.

Aos meus colegas e amigos do curso BI-Master 2015.1, pela prazerosa convivência, aprendizado, admiração e produtivas discussões.

Aos meus companheiros de labuta Lenilson Braz da Costa Rodrigues, Daniel Gondra Nunes e André Luis Fonseca Pires pelo apoio e suporte técnico.

## RESUMO

Esta monografia tem por objetivo encontrar soluções viáveis para minimizar estadias de navios de cargas em portos, que ocorrem no ato de entrega de produtos líquidos adquiridos por uma empresa. Procurando evitar a alteração de metas de consumo dos volumes armazenados em seus tanques, essas soluções são compostas por ações de remanejamento de estoque visando à obtenção de espaço suficiente para recepção de novos produtos.

Por adquirir com muita antecedência volumes de produtos líquidos para revenda ou fabricação de produtos, empresas compradoras podem viver situações em que na data de entrega desses produtos não haja espaço suficiente em seus tanques para armazená-los. Nessas situações, navios de carga são compelidos a permanecer atracados no porto, ou nas suas imediações, até que os tanques em terra estejam capacitados a receber os volumes encomendados. A questão apresentada aqui é que esse tempo de espera dos navios nos portos gera uma cobrança de penalidade onerosa para as empresas, que pode encarecer significativamente o preço dos produtos adquiridos.

Com a intenção de evitar, ou minimizar essa penalidade, ou ainda, evitar o estabelecimento de novas metas de consumo, esta monografia propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de otimização que seja capaz de oferecer soluções realistas para as empresas, obtidas dentro de períodos de tempo em que possam ser aplicáveis. Nesse sentido, pretende-se demonstrar que uma ferramenta baseada em algoritmos genéticos pode ser um instrumento rápido e eficiente para resolver essa questão, pois esses algoritmos caracterizam-se por apresentar soluções que vão evoluindo quanto maior for o tempo de processamento. Portanto, a solução ideal para o problema será sempre aquela mais eficiente até o momento em que sua implementação ainda seja possível.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	06
2. METODOLOGIA .....	09
2.1. Características Básicas do Sistema Proposto .....	09
2.2. Características Operacionais do Sistema Proposto .....	15
2.3. Estratégias, Limites e Restrições Operacionais .....	16
2.3.1. Liberação de Espaço por Remanejamento .....	18
2.3.2. Possibilidades de Transferências .....	18
2.4. Computação Evolucionária .....	20
2.4.1..Algoritmos Genéticos.....	21
2.5. Solução por Algoritmos Genéticos .....	27
2.6. Arquitetura da Solução .....	30
3. RESULTADOS .....	35
4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	40
Referências Bibliográficas .....	41
Anexos .....	43

## 1. INTRODUÇÃO

Ao adquirir grandes volumes de produtos líquidos para armazenamento em tanques, uma empresa pode enfrentar um problema de falta de espaço em seu pátio de operações na data de entrega desses produtos. Volumes líquidos em grande quantidade costumam ser transportados por navios de carga, e, por isso, têm que ser entregues em portos, onde normalmente há ligações marítimas que permitem transferir esses produtos para tanques em terra, ali localizados. Sendo assim, quando não há espaço suficiente para que os produtos adquiridos sejam bombeados para esses tanques, os navios ficam em estado de espera, aguardando o recebimento de um aviso de que há espaço nos tanques para a entrega dos produtos.

Após o navio emitir uma notificação ao porto de que se encontra em área de fundeio ou em lugar adequado para dar início às operações (NOR – *Notice Of Readness*), a empresa compradora tem um tempo preestabelecido para receber a sua encomenda, estipulado em um contrato de afretamento (*Charter Party*), e variando geralmente de acordo com o volume de descarga a ser bombeado para os tanques. Ultrapassado esse tempo, os navios são autorizados a cobrar uma indenização da empresa adquirente pelo tempo excedente de estadia no porto ou nas suas imediações. Essa multa é uma taxa de mora cobrada pelos armadores dos navios – batizada no meio marítimo de taxa de *demurrage* –, com o objetivo de cobrir o prejuízo dos navios causado por atraso nos portos.

O valor dessa multa é estabelecido em contrato de afretamento, firmado por ocasião da compra. Atualmente, para navios de grande porte, a multa varia em torno de 20 a 25 mil dólares americanos por cada dia excedente no porto. Sendo assim, para evitar essa onerosa penalidade, é fundamental para a empresa compradora ter um controle apurado dos seus estoques líquidos e ser capaz de prever com bastante precisão, em um futuro próximo, o consumo de seus estoques nos tanques.

Empresas que costumam importar diversos produtos líquidos, e utilizam todo o seu conjunto de tanques para armazená-los, tendem a conviver com problemas de falta espaço com frequência. Como esses produtos precisam ser adquiridos com muita antecedência, em determinadas épocas o grau de incerteza da economia faz com que as empresas comprem equivocadamente mais volumes do que serão capazes de armazenar.

Além disso, em momentos de câmbio instável ou mercado não favorável, a concorrência faz com que as empresas procurem manter os seus estoques em determinados níveis de segurança para poder continuar atendendo aos pedidos de seus clientes, e assim não perder mercado. Com isso, mesmo sendo feito um controle rígido dos estoques nos tanques e utilizando previsões de consumo pessimistas, as empresas correm sempre o risco de adquirir quantidades de volumes de produtos que podem fazê-las enfrentar dificuldades de armazenamento por ocasião da entrega de novos volumes.

Entretanto, mesmo em tempos de economia estável, o mercado tem suas flutuações naturais em relação à comercialização de produtos que tenham óleos básicos entre seus componentes, e isso pode ser mais uma das razões para que ocorra falta de espaço nos tanques por ocasião da chegada dos navios. Uma empresa que adquire diversos tipos de produtos líquidos dificilmente terá o mesmo grau de certeza em relação às previsões de consumo de todos os seus produtos. Com isso, uma pequena variação no consumo de alguns de seus produtos pode ser suficiente para gerar falta de espaço em seus tanques na data de chegada de novas encomendas.

Ocorre que algumas vezes essa falta de espaço não tem nenhum motivo específico, é apenas uma questão de logística. Ou seja, o problema se estabelece não necessariamente porque o consumo foi ligeiramente diferente do que foi previsto, mas porque, após o consumo, os produtos nos tanques não costumam ficar automaticamente armazenados de maneira ótima, prontos para a descarga específica dos novos produtos que vão chegar. Nessas situações, muitas vezes é suficiente apenas reorganizar e remanejar produtos dos tanques para que o espaço apareça. Todavia, descobrir exatamente quais transferências entre tanques devem ser feitas para que essa questão seja resolvida, antes da chegada do próximo navio, pode ser uma tarefa bastante complexa, principalmente porque o custo dessas operações precisa ser o menor possível, e, no mínimo, inferior à taxa de *demurrage* cobrada pelo número de dias além do preestabelecido que o navio precisará ficar à disposição nas imediações do porto.

Como nem sempre é possível encontrar uma solução em que se consiga espaço nos tanques, fazendo-se apenas transferências de produtos entre eles, seria conveniente que, nesse processo de busca de uma solução, fossem também estabelecidas metas de consumo dos produtos estocados, visando à liberação de espaço nos tanques até a chegada do navio, seja através de venda de produtos ou por outras formas de armazenagem. Todavia, esta monografia não pretende abordar essa questão.

Antes da data de chegada de um navio, ações e procedimentos precisam ser executados pela empresa para minimizar o tempo em que espaços serão liberados em seus tanques, objetivando-se dessa forma receber os volumes adquiridos dentro do período de tempo acordado, evitando-se assim alterar metas de consumo e, principalmente, o pagamento de uma penalidade (taxa de *demurrage*). Contudo, para empresas que possuem muitos tanques e adquirem diversos tipos de produto, um problema de otimização como esse contém um número muito elevado de variáveis. Portanto, encontrar a solução ótima para esse problema pode exigir um tempo de processamento tão grande que a sua execução pela empresa fique impossível de ser realizada.

Sendo assim, para que possamos conhecer melhor esse problema e propor soluções eficientes e possíveis de ser aplicadas, vamos estudar nesta monografia um caso particular de uma empresa fictícia de óleos lubrificantes, que possui um parque com 76 tanques de diversas capacidades e localizações, sendo 15 deles utilizados na fabricação de cerca de 500 produtos diferentes. Além disso, para a fabricação de seus produtos, a empresa importa 15 tipos diferentes de óleos básicos, que chegam de navio, e adquire outros 5 tipos de óleo, entregues por via terrestre.

Os resultados apresentados nesta monografia demonstram que, havendo espaço, é possível encontrar soluções com uso de algoritmos evolutivos, em especial, algoritmos genéticos, que são capazes de determinar ações de transferências necessárias para liberação de espaço nos tanques da empresa.



## **2. METODOLOGIA**

O objetivo desta monografia é estabelecer quais seriam as ações a serem tomadas por uma empresa que precise liberar espaço em seus tanques para armazenar volumes de óleos adquiridos, entregues por navios transportadores de carga que vão atracar no píer da companhia.

Caso seja ultrapassado o período de tempo de estadia do navio na área de fundeio do píer da companhia, preestabelecido para o total recebimento dos volumes adquiridos, os navios de carga cobram uma penalidade financeira por esse tempo de mora (taxa de *demurrage*), definida em contrato de afretamento. Sendo assim, para que o prejuízo seja mínimo, o custo das ações para liberar espaço nos tanques precisa ser o menor possível.

Para tentar identificar quais seriam as ações necessárias que essa empresa deve tomar para liberar espaço em seus nos tanques com o menor custo possível (solução ótima), vamos estabelecer inicialmente que essa companhia tem por finalidade a fabricação de lubrificantes. Após isso, vamos criar um sistema em que seja possível cadastrar informações básicas dessa empresa, como: produtos, tanques, formas de transmissão, vazões etc.; e operacionais, como: estoque, compras, prazos de entrega, programação da produção etc..

Vamos também incluir nesse sistema: estratégias, limitações físicas e restrições operacionais, para, com essas informações, tentar encontrar a melhor solução possível, ou até mesmo a solução ótima, por meio de algoritmos genéticos.

### **2.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO SISTEMA PROPOSTO**

A seguir, vamos estabelecer as características básicas da empresa fictícia para o desenvolvimento do sistema proposto.

#### **Insumos (Óleos básicos)**

A empresa costuma adquirir 20 tipos de óleos diferentes (denominados óleos básicos), que são estocados em seus tanques, sem que sejam misturados, para a fabricação de seus produtos e, em situações especiais, para revenda. Cada tipo de óleo tem como características principais: a viscosidade, a densidade e o fator de compressão, que influenciam: no volume a ser armazenado em temperatura ambiente; no tempo de transferência de volumes entre tanques; e,

até mesmo, na impossibilidade de transferência desse óleo entre tanques, quando a potência da bomba propulsora não é suficiente.

De acordo com a densidade, os óleos podem ser classificados como: pesados, médios e leves. Além de essa classificação estabelecer o grau de limpeza que tem que ser feito em um determinado tanque — quando há a necessidade de seu esvaziamento para substituição de um tipo de óleo por outro —, pois óleos com maior densidade exigem maior esforço das bombas para transferências de volumes, e, por conseguinte, maior custo.

Da mesma maneira, óleos mais viscosos também exigem maior esforço das bombas para transferências de volume. No entanto, por restrição técnica, algumas bombas propulsoras dessa empresa fictícia não são capazes de efetuar transferências de óleos com grau de viscosidade muito alto, impedindo o seu armazenamento em determinados tanques.

## **Tanques**

A empresa possui 76 tanques que têm os seguintes atributos:

### a) Capacidade

Volume máximo em litros para armazenamento de óleo.

### b) Status

- Básico – Tanques utilizados para armazenamento de óleos da empresa.
- Serviço – Tanques utilizados para fabricação de óleo lubrificante.
- Manutenção – Tanques fora de uso, em manutenção.
- Terceirizado – Tanques utilizados para armazenamento de óleos de terceiros.

### c) Localização

A empresa possui um parque operacional com tanques em 3 (três) áreas físicas diferentes. Dentro de cada uma destas áreas, os tanques têm comunicação entre si e são denominados: Tanques “C”, Tanques “E” e Tanques “R”.

Os tanques “C” e “E” estão localizados em áreas físicas próximas ao píer da companhia e dentro do perímetro aduaneiro para recebimento marítimo. Já

os tanques “R” ficam localizados em outra região, distante do píer, e, por isso, fora dos limites aduaneiros, não sendo possível realizar recepção marítima com eles.

d) Recepção de volume do navio

Alguns tanques estão capacitados a receber volumes diretamente dos navios de carga. Isto é, são tanques que têm conexão com as linhas de transmissão que vêm do píer da companhia.

Apesar de os tanques “C” e “E” estarem localizados próximos ao píer e, por isso, dentro dos limites aduaneiros, alguns desses tanques não estão capacitados a receber volumes de óleo diretamente dos navios pelas linhas de transmissão, pois não há conexão desses tanques com o píer.

e) Tipos de tanque (p/ transferências)

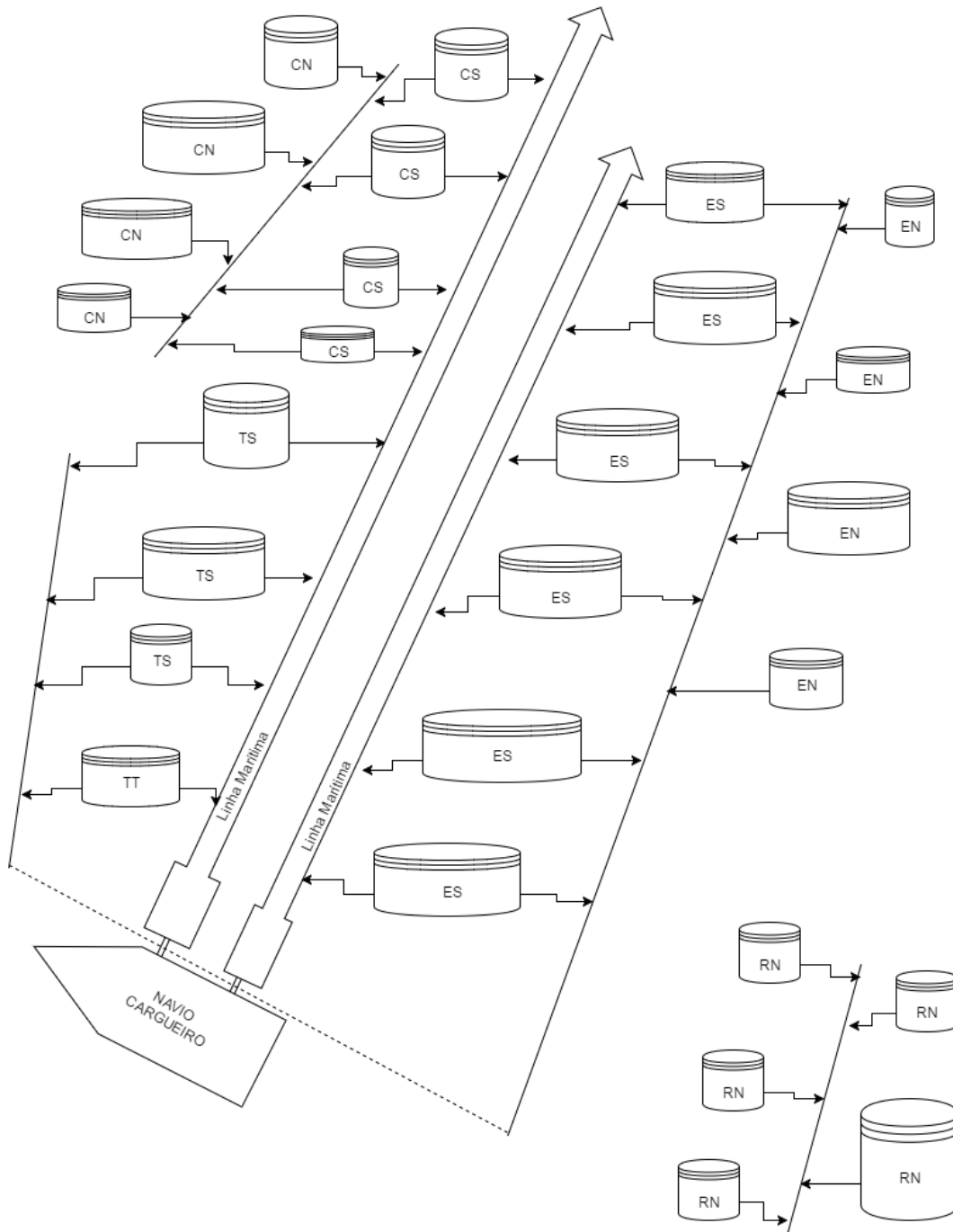
Alguns tanques possuem características comuns para transferência de volumes de óleo como: localização física, conexão com linhas de transmissão entre tanques, conexão com linhas de transmissão para o píer e acessibilidade física de caminhões-tanque.

Sendo assim, ficam estabelecidos 7 (sete) tipos de classificação de tanques para transferências, quais sejam:

- 1) “CS” – Tanques “C” conectados ao píer
- 2) “CN” – Tanques “C” não conectados ao píer
- 3) “TS” – Tanques “E” conectados ao píer e a tanques “CS”
- 4) “TT” – Tanques “E” conectados ao píer e a tanques “CS”, sem acesso a caminhões-tanque
- 5) “ES” – Tanques “E” conectados ao píer
- 6) “EN” – Tanques “E” não conectados ao píer
- 7) “RN” – Tanques “R” não conectados ao píer e fora do perímetro aduaneiro

Obs.: Um croqui simulando um mapa que contém as ligações dos tanques da empresa com as linhas marítimas e linhas de conexão pode ser verificado na página seguinte. Os tanques estão classificados pelo tipo de transferência.

PARQUE DE TANQUES DA EMPRESA  
Classificados p/ Tipo de Transferência



Obs.: As setas indicam que existem ligações dos tanques com as linhas de conexão ou linhas marítimas, permitindo que haja fluxo de óleo tanto de entrada quanto de saída.

## **Operações de Transferências**

Ações para liberação de espaço nos tanques são basicamente transferências de óleo, que podem ser feitas através de bombeamento pelas linhas de transmissão entre os tanques e/ou bombeamento para, ou de, caminhões-tanque.

Como conceituado anteriormente, cada tanque tem uma característica própria em termos de localização, conexão e falta de conexão com outros tanques, limitação de acesso para caminhões-tanque etc.. Isso faz com que existam formas distintas de operação de transferência de um tanque X, de onde será retirado o volume de um tipo de óleo e um tanque Y, para onde será bombeado o volume a ser transferido.

De uma forma geral, o custo de transferência de um tanque para outro pode ser calculado de duas maneiras:

### 1) Através de linha de transmissão

O custo dessa operação restringe-se ao gasto de energia elétrica para transferência do volume de óleo. Este custo deve ser calculado de acordo com a vazão e a potência da bomba a ser utilizada e, ainda, a densidade e a viscosidade do óleo a ser transferido, observando-se os limites máximos de vazão das conexões.

### 2) Através de transferência por caminhão-tanque

O custo desse tipo de operação envolve o transporte do óleo pelo caminhão-tanque (frete) que deve ser calculado, a princípio, de acordo com o volume transportado e o número de quilômetros a ser percorrido. Além disso, há ainda o custo de energia elétrica para bombear o óleo do tanque de saída para o caminhão-tanque e, não sendo venda direta, do caminhão-tanque para o tanque de entrada. O custo com o gasto de energia deve ser calculado de acordo com a vazão e a potência da bomba a ser utilizada e, ainda, a densidade e a viscosidade do óleo a ser transferido do tanque de saída para o caminhão-tanque e, se for o caso, do caminhão-tanque para o tanque de entrada, observando-se os limites máximos de vazão das conexões.

Na prática, conhecendo-se o tanque de saída, o óleo contido nele, o tanque de entrada e como são classificados esses dois tanques que fazem parte da operação de transferência, calcula-se o custo de transferência do volume de óleo

a ser transferido através de uma consulta a uma tabela da empresa de custo de transferência de 1.000 litros, ou 1 m<sup>3</sup>, de óleo. Nesta tabela, o tipo de transferência da operação é codificado com 4 dígitos (ex.: “CNTS”): os dois primeiros representam o tipo de transferência do tanque de saída (“CN”) e os dois últimos representam o tipo de transferência o tanque de entrada (“TS”).

Quando o tanque de entrada estiver vazio, deve ser incluído ao custo de operação um valor fixo para a sua limpeza, que é dependente da classificação do óleo que estava armazenado no tanque (pesado, médio e leve), e a classificação do óleo que está sendo transferido. Sendo o mesmo óleo, a limpeza é desnecessária, não havendo custo.

Obs.: Ao final desta monografia, em anexo, há uma tabela de tipos de classificação de transferências possíveis da empresa de lubrificantes fictícia (Tabela C), contendo as vazões por hora para cada m<sup>3</sup> transferido, custo de energia elétrica e custos de transporte por meio de caminhão-tanque.

### **Produtos Finais (Óleos lubrificantes)**

Dentre os 500 produtos fabricados pela empresa, 10 são considerados os principais por terem volumes de venda frequente. Como são facilmente comercializados, podem ser produzidos e armazenados, pois ocupam espaço no almoxarifado por muito pouco tempo. Sendo assim, havendo a necessidade de alteração da meta de consumo, objetivando o consumo imediato de óleos básicos armazenados nos tanques da companhia para liberação de espaço, são esses os produtos que podem ser escolhidos para que sejam fabricados além da programação original.

Por possuírem fórmulas alternativas que alteram a sua composição, mas não as características e a qualidade dos produtos acabados, esses 10 principais produtos se transformam em 22 fórmulas de produtos acabados, cada uma com uma diferente composição de óleos básicos, aumentando-se assim significativamente as possibilidades de consumo de cada um desses óleos estocados, de acordo com as fórmulas escolhidas para cada produto final que pode ter a sua produção antecipada.

## **2.2. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO SISTEMA PROPOSTO**

A seguir, vamos estabelecer as características operacionais da empresa fictícia para com isso determinar as possibilidades e os custos das ações para liberação de espaço.

### **Controle de Estoque nos Tanques**

Diariamente, é feita uma sondagem em cada tanque da companhia com o objetivo de se checar o volume e o óleo contido em cada tanque. Devido a mudanças de temperatura, recepções de novos volumes de óleos nos tanques por via terrestre ou por navio, e frequentes transferências entre tanques, principalmente de óleos básicos para tanques de serviço, essas sondagens fazem parte da rotina de segurança da empresa para evitar derramamento de óleo, identificar com rapidez possíveis vazamentos e impedir contaminação de óleos pelas conexões.

Com isso, os estoques de óleo em todos os tanques da companhia podem ser atualizados no sistema diariamente. Todavia, para efeito de ações de transferência, é necessário apenas o controle apurado de estoque em tanques com status de básico, isto é, aqueles que contêm ou podem receber óleos básicos. Tanques que contêm produtos acabados a princípio não devem armazenar óleos básicos após o seu esvaziamento, sem que haja uma limpeza profunda do seu interior.

### **Programação Marítima**

Ao adquirir volumes de óleos básicos em grande quantidade, a empresa compradora fecha um contrato de afretamento com um navio transportador de carga para que os produtos adquiridos sejam transportados e entregues. Entre outros acordos, são estabelecidos nesse contrato:

- Data prevista p/ entrega dos produtos;
- Vazão máxima de transferência do navio;
- Taxa de *demurrage*;
- Volumes e óleos transportados.

Obs.: A taxa de *demurrage* é uma penalidade cobrada pelo armador do navio de carga pelo número de horas que o navio fica à disposição da empresa compradora para bombear na sua totalidade os óleos adquiridos para os seus tanques em terra, quando o período de tempo acordado no contrato de afretamento é ultrapassado.

### **Consumo Previsto de Óleos Básicos**

Para que seja possível identificar e executar as ações necessárias para liberação de espaço nos tanques da companhia, antes da chegada do próximo navio de carga com os novos volumes de óleos adquiridos, é necessário que se conheça o consumo previsto de cada óleo básico até a data prevista para recepção dos novos volumes nos tanques (data de chegada do navio).

### **Restrições de Conteúdo em Tanques**

Alguns tanques da companhia por questões distintas estão impedidos de armazenar determinados tipos de óleo. Esses tanques podem ter as seguintes restrições de conteúdo:

#### 1) Tanques Reservados ou com Óleos Fixados

Por um critério comercial ou uma mera diretriz operacional, e, portanto, passível de constante mudança, alguns tanques da empresa só podem conter em seu interior determinado tipo de óleo. Isso significa que mesmo vazios não se pode bombear outro tipo de óleo para esses tanques.

#### 2) Tanques c/ Restrições de Óleos

Por uma questão operacional e transitória, tanques classificados para transferência como “EN” estão impedidos de armazenar óleos com viscosidade alta, tendo em vista que a bomba propulsora que atende a esses tanques não tem potência suficiente para transferir óleos muito viscosos.

## **2.3. ESTRATÉGIAS, LIMITES E RESTRIÇÕES OPERACIONAIS**

Para encontrar as ações necessárias para liberação de espaço para recebimento de carga líquida do próximo navio de carga, é preciso identificar quais tipos de óleo e quanto de volume adquirido de cada um deles ficará pendente de entrega.



Isto é, por ocasião do recebimento marítimo, esses óleos pendentes não podem ser imediatamente bombeados pelos navios para os tanques da companhia sem que haja alguma ação que resulte em liberação de espaço.

As restrições para que um tanque da empresa possa receber óleo diretamente de um navio de carga atracado em seu píer são:

- 1- esteja localizado dentro do perímetro aduaneiro para recepção marítima;
- 2- esteja com status “Básico”, isso é, pronto para estocar óleo básico;
- 3- esteja vazio ou tenha volume disponível p/ recepção;
- 4- o óleo lá contido seja exatamente o mesmo que será recebido;
- 5- não tenha restrição de conteúdo para receber o óleo do navio.

Obs.: Tanques que não têm conexão direta com o píer da companhia também estão aptos a receber óleo proveniente do navio de carga, mas, de forma indireta, isto é, através de outro tanque que tenha conexão com o píer. Para que isso seja possível, este outro tanque, denominado tanque-ponte, recebe primeiramente o óleo bombeado do navio e, depois, é feita uma transferência deste óleo para o tanque desconectado. O tanque conectado com o píer, utilizado como ponte, têm exatamente as mesmas restrições de recebimento dos demais tanques.

Em uma primeira fase de cálculo, para encontrar os volumes de cada tipo de óleo que ficarão pendentes de entrega, é preciso diminuir do volume de cada tipo de óleo adquirido a soma dos volumes disponíveis em cada tanque da empresa que tenha em seu conteúdo na data da entrega estoque deste mesmo óleo. Nesse cálculo, devem ser excluídos tanques que se encontram fora do perímetro aduaneiro para recebimento marítimo.

Ex.: Havendo na empresa apenas um tanque (“k”) com óleo “O”, temos que:

$$PO1 = VOR - (CTkX - EOTk)$$

Se  $PO1 > 0 \rightarrow$  Tanque “k” fica cheio ( $EOTk = CTkX$ ) e  $PO1$  é o volume pendente

Se  $PO1 = 0 \rightarrow$  Tanque “k” fica cheio ( $EOTk = CTkX$ ) e não há pendência

Se  $PO1 < 0 \rightarrow$  Vol. Tanque k ( $EOTk = CTkO - (EOTk + VOR)$ ) e não há pendência

VOR – Volume do óleo “O” adquirido

CTkO – Capacidade do tanque “k” contendo óleo “O”

EOTk – Estoque do óleo “O” no tanque “k”

PO1 – Pendência de recebimento do óleo “O” na primeira fase de cálculo (fase 1)

Depois disso, havendo tanques vazios no perímetro aduaneiro de recebimento marítimo, o tanque de maior capacidade deverá receber o tipo de óleo com maior volume ainda no navio, identificado na fase de cálculo de pendência imediatamente anterior e, assim, sucessivamente.

O problema que pretendemos solucionar nesta monografia fica estabelecido quando não há mais tanques vazios no perímetro aduaneiro, mas ainda existem óleos adquiridos pendentes no navio, isto é, volumes que precisam ser entregues. Sendo assim, só há dois tipos de ações possíveis para que seja obtido espaço nos tanques da empresa:

- consumir volume de óleos dos tanques (não será abordado nesta monografia);
- remanejar os volumes de óleos contidos nos tanques da companhia.

### **2.3.1. Liberação de Espaço por Remanejamento**

Para tentar resolver essa questão através de remanejamento de estoque é preciso fazer um determinado número de transferências de óleos entre tanques da companhia, de tal maneira que surja espaço disponível nos tanques pertencentes ao perímetro aduaneiro de recepção marítima. Liberando-se espaço dessa forma, o restante dos óleos adquiridos pela empresa, ainda no navio de carga, isto é, pendentes de entrega, podem ser bombeados diretamente para esses tanques, agora com disponibilidade de recebimento.

Obviamente, para que exista uma solução, ou um conjunto de ações de transferência, simplesmente remanejando óleos entre tanques para receber o restante do volume adquirido, é preciso que a soma do volume disponível nos tanques pertencentes ao perímetro aduaneiro da companhia seja superior ao total de volume de óleo no navio, ainda pendente de entrega. Ou seja, cumprida essa condição básica, em geral, o problema de falta de espaço nos tanques eventualmente ocorre por causa da principal restrição de estocagem da empresa: tipos de óleos diferentes não podem ser misturados e, por conseguinte, armazenados em um mesmo tanque.

### **2.3.2. Possibilidades de transferências de óleo**

Para uma companhia que possui um parque com 76 tanques de diversos tamanhos, caso imaginemos, por exemplo, que 66 deles estejam estocando cerca de 20 diferentes tipos de óleo, utilizando uma parte ou o total de sua

capacidade máxima, provavelmente, muitas serão as possibilidades de se realizar uma transferência entre esses tanques.

Para que tenhamos ideia apenas de uma ordem de grandeza dessas possibilidades, podemos considerar inicialmente que nenhum dos 66 tanques esteja completamente cheio nem completamente vazio, e supor que 14 diferentes tipos de óleo estejam armazenados em 42 tanques, cada um deles em 3 tanques, e os 6 outros tipos de óleo restantes estariam estocados nos demais 24 tanques, cada um deles em 4 tanques. Sendo assim, teríamos 156 ( $14 \times 3 \times 2 + 6 \times 4 \times 3$ ) possibilidades de transferências de óleo válidas entre esses 66 tanques. Se, após essa primeira transferência, nenhum tanque ficar completamente cheio nem completamente vazio, em uma segunda transferência, feita logo a seguir, teríamos outras 156 possibilidades. Isso representaria então um total de 24.336 possibilidades válidas para uma ação com duas transferências em sequência ( $156 \times 156$ ). Com uma terceira transferência realizada então, nas mesmas condições da segunda, teríamos 3.796.416 possibilidades ( $156 \times 156 \times 156$ ). Com quatro, 592.240.896 ( $156^4$ ).

Sendo mais rigoroso no cálculo combinatório, esses números podem ser ainda maiores, pois, após uma transferência, existe grande possibilidade de que alguns tanques fiquem cheios e outros vazios. Nessa situação, um tanque cheio passa a não poder mais receber transferência de óleo de nenhum outro tanque. Dependendo do número de tanques em que o óleo esteja estocado, isso significa uma diminuição de 2 ou 3 possibilidades de transferência para esse tanque cheio, que agora está no máximo de sua capacidade de armazenamento. Por outro lado, um tanque esvaziado ficaria teoricamente apto a receber transferência de todos os demais tanques da companhia. Assim, não havendo restrição de conteúdo, dependendo do óleo que estivesse sido estocado anteriormente no tanque, agora vazio, seriam aumentadas em 62 ( $66 - 4$ ) ou 63 ( $66 - 3$ ) as possibilidades de transferência de um novo produto para este tanque.

Independente da precisão nos cálculos dessas possibilidades, que dependem da situação em que se apresentam os números do estoque, não há dúvidas de que o número de opções de se transferir um tipo de óleo de um tanque para outro aumenta exponencialmente a cada nova rodada de transferência, fazendo com que, na grande maioria dos casos, uma busca exaustiva pela solução ótima — aquela cujo custo total de ações para realizar as transferências é o menor

possível —, deva levar um tempo de processamento computacional tão grande que seja inviável a sua aplicação.

É importante ressaltar que esse tempo de processamento pode ser muito maior, pois analisamos e calculamos anteriormente apenas o número de possibilidades fisicamente válidas de transferências de óleo entre tanques, isto é, aquelas sem derramamento ou contaminação de óleo. Ou seja, são transferências que, em princípio, não havendo nenhuma restrição de conteúdo, podem de fato ser realizadas.

Em uma busca exaustiva pela solução ótima, sorteando entre os 66 tanques disponíveis um tanque para a saída de óleo e outro para a entrada, teríamos, apenas para a primeira transferência, 4356 possibilidades (66x66). Com base nos cálculos que fizemos anteriormente, isso significa que somente pouco mais de 3,5 % (156/4356) das transferências seriam classificadas como válidas, isto é, possíveis de ser executadas. Uma segunda transferência geraria outras 4356 possibilidades, significando que uma ação com duas transferências, uma seguida da outra, exigiriam um processamento de 18.974.736 possibilidades (4356x4356) para que no mínimo fossem testadas cada uma delas.

Sendo assim, estabelecida uma varredura em todas as soluções (busca exaustiva) para encontrar uma solução ótima, isto é, a de menor custo, as possibilidades de transferências precisariam ser processadas para que a grande maioria fosse identificada como inválida, aumentando sobremaneira o tempo computacional. Portanto, utilizar estratégias que visem à diminuição do espaço de busca, evitando transferências inválidas; e técnicas de otimização capazes de encontrar soluções parciais que possam ser melhoradas quanto maior for o tempo de processamento; parecem ideais para resolver problemas como esse, que tem possibilidades quase infinitas de soluções. Nesse sentido, a busca pela solução ótima deixa de ser o objetivo final do problema, pois todo o esforço deve ser feito na busca de uma solução eficaz, ou quase ótima, que seja obtida dentro de um período de tempo suficiente para que possa ser aplicada pela empresa.

## **2.4. Computação Evolucionária**

Nas últimas décadas, pesquisadores vêm se debruçando nas características e princípios da natureza para criar modelos computacionais inteligentes. Físicos, biólogos e outros cientistas observam os fenômenos da natureza tentando

estabelecer regras e leis pelos quais eles são regidos. Por outro lado, matemáticos, cientistas da computação e engenheiros têm se inspirado nessas regras e leis da natureza para tentar criar soluções para problemas que a ciência atual ainda não consegue resolver satisfatoriamente (TANOMARU, 1995). Nascida desses estudos, a computação evolucionária hoje é um ramo da ciência da computação que se fundamenta em um novo paradigma para resolver problemas, baseado nos conceitos de evolução da natureza, formulados por Darwin em sua famosa teoria (BARBOZA, 2005).

Partindo de uma população de soluções potenciais e modelos que produzem sistemas baseados nos princípios da evolução e hereditariedade, algoritmos evolutivos são fundamentados em um processo de aprendizagem coletiva de uma população de indivíduos. Este processo envolve a aptidão individual de integrantes dessa população e mecanismos de busca que se destinam a manipular indivíduos selecionados de uma geração anterior, visando à obtenção de indivíduos mais aptos em uma próxima geração. Inspirado em um modelo simplificado da natureza como um processo adaptativo de busca e otimização, na computação evolucionária cada um desses indivíduos representa um ponto do espaço de busca de soluções possíveis para um determinado problema (COELHO E COELHO, 1999; BÄCK e SCHWEFEL, 1993)

Tanomaru (1995) avalia que a computação evolucionária tem incorporado um crescente número de paradigmas e métodos, entre eles: algoritmos genéticos; programação evolucionária; estratégias evolucionárias; programação genética etc.. Um dos mais difundidos e pesquisados são os algoritmos genéticos, tendo em vista a sua flexibilidade, relativa facilidade de utilização e eficácia em efetuar busca global em diferentes situações (BARBOZA, 2005).

#### **2.4.1. Algoritmos Genéticos**

Alicerçado nas pesquisas de Darwin sobre a origem das espécies e a genética natural formulada principalmente por Mendel, Holland (1975) se inspirou nesse mecanismo de evolução das espécies para preliminarmente propor os algoritmos genéticos como um meio de formalizar o estudo do fenômeno de adaptação conforme acontece na natureza, e o desenvolvimento de metodologias pelas quais os processos de adaptação natural pudessem ser utilizados em sistemas computacionais. Contudo, ao representar o mecanismo evolutivo através de um modelo de cromossomos, Holland percebeu um atalho para determinar máximos

e mínimos de funções matemáticas, de enorme e direta aplicação prática, favorecendo a concordância do uso de algoritmos genéticos pela comunidade científica (GOLDBARG E LUNA, 2000).

Algoritmos genéticos são métodos de busca estocástica em que a seleção privilegia os indivíduos longevos e mais aptos e, portanto, com maior probabilidade de reprodução. Com maior número de descendentes os códigos genéticos desses indivíduos, representados em seus cromossomos, têm maior probabilidade de serem perpetuados nas próximas gerações. Sendo assim, a construção de algoritmos computacionais, fortemente inspirada nesses princípios, tem por objetivo resolver problemas em que se busca a melhor solução através da evolução de populações codificadas por cromossomos digitais (PACHECO *et al.*, 1999).

Considerados muito eficientes para diversos tipos de problemas que são resolvidos através da busca de soluções ótimas, ou quase ótimas, os algoritmos genéticos passam ao largo das limitações exigidas pelos métodos de busca tradicionais. Uma das vantagens dos algoritmos genéticos apontada por Miranda (2005) é a simplificação na formulação e na resolução de problemas de otimização com número elevado de variáveis e, por conseguinte, enorme espaço de busca. Além disso, os algoritmos genéticos convergem em muitos dos casos em que outras estratégias de otimização não têm sucesso (BARBOZA, 2005).

Tendo como ponto de partida um conjunto inicial de possíveis soluções, os algoritmos genéticos diferenciam-se de técnicas de busca convencionais. Um conjunto de soluções é chamado de população e, por conseguinte, as soluções são os indivíduos pertencentes a essa população, que são representados por cromossomos e avaliados através de uma medida de aptidão. A evolução da população ocorre com a iteração sucessiva desses indivíduos, produzindo novos indivíduos com aptidões diversas, descendentes da geração anterior (LEIRAS, 2010). Uma nova geração passa a existir com o surgimento de novos indivíduos por meio de cruzamento entre dois cromossomos de uma mesma geração (operador *crossover*) ou pela modificação de um cromossomo (operador de mutação). Com o objetivo de se manter o tamanho da população constante, essa nova geração é formada através de uma seleção feita em função de valores de aptidão, tanto de “descendentes” como de “progenitores”, e do descarte dos demais. À medida que ocorrem sucessivas gerações, a tendência é que indivíduos das populações evoluídas representem soluções cada vez melhores.

Dessa forma, o algoritmo termina por convergir para o melhor cromossomo ou indivíduo, que deve representar a solução ótima ou quase ótima do problema (GEN E CHENG, 1996).

### **Componentes básicos**

Os algoritmos genéticos se utilizam de termos nascidos na teoria da evolução natural e da genética. Assim, um indivíduo da população pode ser formado por um ou mais cromossomos, passando a ter o termo indivíduo ou cromossomo o mesmo significado quando este indivíduo é representado por apenas um cromossomo. Utilizados geralmente na forma de vetores, cada um dos componentes de um cromossomo é conhecido como gene, cuja localização é fixa e denominada locus, e seus possíveis valores são chamados de alelos. Com isso, o conjunto composto por cromossomo, genes e alelos denomina-se genótipo e as características conferidas por este formam o fenótipo (BARBOZA, 2005).

### **Aplicação**

Em um problema qualquer que se pretenda aplicar algoritmos genéticos, cada possível solução pode ser configurada pela variável independente  $x$ , que representa o genótipo (indivíduo candidato à solução), e a variável dependente ou função  $f(x)$  vem a ser o fenótipo (valor da função para um dado indivíduo). Portanto, a função a ser otimizada representa o ambiente no qual a população inicialmente está inserida, esperando-se que os indivíduos mais aptos tenham maior probabilidade de se reproduzir e a cada nova geração estejam mais aptos ao ambiente (BARBOZA, 2005).

Presumindo-se que a próxima geração seja uma evolução da anterior, havendo um processo de seleção para formar essa nova geração, os mais aptos devem ter maior probabilidade de ser partícipes. Contudo, é conveniente que neste processo também seja selecionada uma pequena parcela de indivíduos com pouca aptidão. Após a escolha dos formadores da próxima geração, o estágio seguinte é a utilização dos operadores genéticos para agir sobre os genótipos visando à produção de novos indivíduos com aptidões diferentes, também denominados de mecanismos de busca (HOLLAND, 1975).

O esquema de seleção e os mecanismos de busca mais utilizados (*crossover* e mutação) são chamados de operadores do algoritmo genético. Se as operações de seleção, *crossover* e mutação forem bem conduzidas, espera-se que a nova geração seja, em média, melhor do que a que lhe deu origem (BARBOZA, 2005).

### **Geração da População Inicial**

Em grande parte das aplicações a população inicial (semente) é gerada aleatoriamente ou por processos heurísticos que evitam indivíduos inconsistentes. É essencial que essa população inicial corresponda à maior parte do espaço de busca. Segundo Reeves (1995), a utilização de métodos heurísticos que selecione indivíduos mais aptos pode diminuir o tempo de convergência do algoritmo genético, encontrando-se rapidamente melhores soluções. Por outro lado, sendo essa convergência muito prematura pode prejudicar a resolução do problema (BARBOZA, 2005)

### **Função Aptidão**

O grau de aptidão de um indivíduo é obtido pela avaliação de seus cromossomos através da função que será otimizada. Ou seja, a aptidão de um indivíduo é a quantificação de sua adaptação ao ambiente ou o valor da função custo aplicada a ele. Falcão e Borges (2001) avaliam que em problemas de otimização que não há restrições, o resultado da função objetivo é o próprio valor de aptidão de um indivíduo. Havendo restrições, normalmente a função de aptidão é associada a uma função de penalidade (BARBOZA, 2005).

### **Operadores de Seleção**

Considerado um operador Darwiniano, o operador de seleção tem inspiração na teoria da evolução das espécies de Darwin (1981). Segundo Bäck, Fogel e Michalewicz (2000) este operador é responsável por transferir o processo para as melhores regiões do espaço de busca. Tem por objetivo selecionar indivíduos da população para reprodução, optando preferencialmente por indivíduos mais adaptados ao ambiente (MITCHELL, 1996).



Segundo Barboza (2005), os principais operadores de seleção são:

a) Roleta simples ou solução proporcional

A probabilidade que um indivíduo da população seja selecionado para reprodução é proporcional à sua aptidão relativa. Indivíduos com maior aptidão ocupam mais espaço na roleta.

b) Roleta ponderada ou solução por ordenação

Colocados sequencialmente em ordem decrescente, de acordo com a sua aptidão, cada indivíduo tem um espaço na roleta proporcional a sua posição na fila, fazendo com que o indivíduo mais apto, isto é, o primeiro da fila, tenha maior probabilidade de seleção.

c) Seleção por torneio

De uma população inicial, forma-se um subgrupo com determinado número de indivíduos. Deste subgrupo, o seu melhor indivíduo é extraído para uma nova população. Esse procedimento é repetido até que esta nova população fique com o mesmo número de indivíduos da população inicial.

d) Seleção por truncamento

Uma população com "n" progenitores gera "m" filhos, sendo o número de filhos superior ao número de pais ( $m > n$ ). A nova geração é formada pelos "n" filhos mais aptos, que serão os pais da próxima geração.

e) Seleção proposta por Mayerle (1994)

Colocados sequencialmente em ordem, de acordo com a sua aptidão, indivíduos com melhor valor de aptidão são privilegiados de acordo com uma distribuição de probabilidade inversamente proporcional ao índice dos indivíduos na população. Assim, quanto menor o índice, maior é a sua probabilidade de escolha.

f) Seleção elitista

Normalmente acoplado a outros métodos de seleção, os melhores indivíduos da população são mantidos na geração seguinte, assegurando-se assim que esses cromossomos não sejam aniquilados pelos mecanismos de busca (cruzamento e mutação).

## **Operadores Genéticos**

Entre os tipos de operadores genéticos que são responsáveis pelo surgimento de novos indivíduos, dois deles são os mais comumente empregados (BARBOZA, 2005). São eles:

### a) Operador *Crossover* ou de *Cruzamento*

Aplicado de forma probabilística em uma nova população, o operador *crossover* realiza o cruzamento entre dois indivíduos selecionados aleatoriamente, recombinaando ou não seus materiais genéticos de acordo com uma probabilidade pré-estabelecida. Feita a recombinação, dois novos indivíduos com códigos genéticos de ambos os progenitores são gerados. Em caso contrário, os dois indivíduos inicialmente selecionados têm seus códigos conservados, passando automaticamente a fazer parte da geração seguinte (DIAS, 2006).

### b) Operador de Mutação

Com o objetivo de que seja mantida a diversidade e a renovação do material genético, a utilização do operador de mutação permite que o algoritmo tenha também um papel investigativo, possibilitando uma procura de soluções em outros pontos no espaço de busca. Com a manipulação estrutural do cromossomo, indivíduos gerados através de uma mutação têm formações bem diferentes de indivíduos gerados pelo operador *crossover*, pois, com este operador, os descendentes vão ficando cada vez mais similares aos seus progenitores após algumas gerações. Sendo assim, ao criar indivíduos com propriedades diversas daquelas encontradas em grande parte da população que está evoluindo, o operador de mutação faz com que o modelo de pesquisa não fique confinado à área de convergência de um ótimo local. No entanto, convém ressaltar, como o indivíduo mutante é gerado por meio de uma modificação radical do cromossomo original, o resultado pode ser de alguma forma imprevisível, fazendo com que geralmente o percentual de aplicação desse operador seja muito pequeno (DIAS, 2006).

## **Parâmetros de Execução dos Algoritmos Genéticos**

Segundo Leiras (2010), os parâmetros de execução são responsáveis pelo controle do processo evolucionário.

Podem ser classificados em:

a) Tamanho da população

Número de indivíduos de cada população ou o número de pontos do espaço de busca.

b) Número de gerações

Total de ciclos de evolução de um algoritmo genético.

c) Total de indivíduos

Número total de tentativas, que vem a ser o tamanho da população multiplicado pelo número de gerações.

d) Taxa de *crossover*

Probabilidade de recombinação entre indivíduos;

e) Taxa de mutação

Probabilidade de cada gene do cromossomo sofrer modificação.

## 2.5. Solução por Algoritmos Genéticos

Conforme visto anteriormente, o problema de falta de espaço em tanques de uma companhia para receber grandes volumes de óleos entregues por navio de carga que estão prestes a atracar em seu píer pode ser resolvido remanejando produtos estocados em seus tanques. No entanto, para um parque contendo, por exemplo, 66 tanques, o número de possibilidades de transferências de óleos entre seus tanques é tão imenso que identificar uma série de ações de transferências com menor custo possível, utilizando métodos tradicionais de otimização, pode levar um tempo tão grande que seja inviável a sua execução. Sendo assim, modelar o problema estabelecendo o uso de algoritmos genéticos para encontrar soluções de menor custo, que vão evoluindo quanto maior for o tempo de processamento, parece um caminho promissor para resolver essa dificuldade.

Uma solução para esse problema modelada por algoritmos genéticos é formada por um determinado número de ações de transferência ("n"), um tanque de saída (TS) de volume e um tanque de entrada (TE) para recepção deste volume em cada transferência. Sendo uma solução um indivíduo, podemos a princípio representá-lo por dois cromossomos, configurando-se o primeiro cromossomo como o tanque de saída (cromossomo TS) e o segundo cromossomo como o tanque de entrada (cromossomo TE), cada um deles possuindo "n" genes, que é o número máximo de transferências possíveis, previamente estabelecidos para a resolução do problema. Dessa forma, por exemplo, o gene denominado TS3,

localizado na terceira posição do primeiro cromossomo, representa o tanque de saída da terceira ação de transferência de óleo entre tanques e o gene TE4, localizado na quarta posição do segundo cromossomo, representa o tanque de entrada para a quarta ação de transferência.

Ex.:

	LÒCUS 1 1ª Transf.	LÒCUS 2 2ª .Transf.	LÒCUS 3 3ª Transf.	LÒCUS 4 4ª Transf.	...	LÒCUS n nª Transf.
Genes do Cromossomo TS	TS1	TS2	TS3	TS4	...	TSn
Genes do Cromossomo TE	TE1	TE2	TE3	TE4	...	TEn

Tendo em vista que limitados fisicamente, o tanque de saída pode transferir no máximo o volume nele contido e o tanque de entrada pode receber no máximo o seu volume disponível — isto é, a sua capacidade menos o volume nele contido —, podemos considerar estrategicamente que o volume transferido do tanque de saída não seja um cromossomo. Dessa forma, evita-se que infinitas transferências de volume com quantidades menores do que os limites físicos de cada tanque precisem ser avaliadas pelo modelo, tendo em vista que não causam qualquer benefício para a resolução do problema. Sendo assim, o volume de transferência entre esses tanques pode simplesmente ser fixado como o mínimo entre: o máximo volume contido no tanque de saída e o máximo volume disponível no tanque de entrada.

Supondo que a companhia fictícia esteja em um determinado momento com 39 tanques disponíveis para transferências, cada gene que faz parte do cromossomo TE teria 39 opções de alelos. Quanto aos genes que pertencem ao cromossomo TS, cada um deles teria as mesmas 39 opções de alelos, e, estrategicamente, mais uma, que seria nula. Essa opção a mais indica que os genes deste cromossomo teriam também uma opção de alelo que não representaria nenhum tanque, permitindo que uma ou algumas das “n” transferências, programadas inicialmente, não precisem de fato ocorrer. Ou seja, uma solução para o problema poderia conter desde uma única transferência a “n” transferências.

Para modelar o problema proposto nesta monografia usando algoritmos genéticos, podemos dizer então que um indivíduo contém dois cromossomos,

cada um deles com “n” genes, que representam sequencialmente as “n” possíveis transferências de volume de um tanque de saída para um tanque de entrada. Sendo assim, a aptidão de cada um desses indivíduos pode ser medida pelo custo de execução dessas “n” ações de transferência. Dessa forma, em um primeiro momento, poderíamos estabelecer que quanto menor fosse o somatório dos custos de cada uma dessas transferências mais apto seria o indivíduo. Todavia, esse indivíduo tem também uma função que é essencial na resolução do problema: ao final da execução desse conjunto de ações deve existir espaço suficiente para que todo o volume armazenado no navio atracado no píer possa ser bombeado para tanques da companhia. Com isso, por meio desse modelo de solução, indivíduos que não tenham essa “competência” devem ser bastante penalizados, isto é, sofram um acréscimo financeiro substancial no valor de suas aptidões. Como a evolução visa a produzir indivíduos mais capazes, isto é, aqueles com menores custos, novas gerações tenderão a conter apenas indivíduos com essa “competência”.

Estabelecido um conjunto de soluções, em que cada solução é formada por “n” tanques de saída e “n” tanques de entrada, escolhidos de maneira aleatória para formar uma primeira geração, pode-se iniciar um processo de evolução de uma população de tamanho pré-definido em que soluções ou indivíduos das próximas gerações sejam cada vez mais aptos, isto é, tenham custo minimizado, até que a aptidão de um desses indivíduos seja a melhor possível (ótima) ou suficientemente boa (quase ótima) para ser aplicada na resolução do problema.

Sendo assim, cada indivíduo dessa população deve ter medida a sua aptidão ou calculado o custo que ela representa. Para isso, é necessário checar todas as restrições físicas, operacionais e estratégicas da companhia com objetivo de que seja verificada a possibilidade de transferência de volume entre o primeiro tanque de saída (TS1) e o primeiro tanque de entrada (TE1). Encontrado o valor a ser transferido, inicia-se o valor de aptidão do indivíduo com o custo dessa transferência. Após isso, o estoque desses dois tanques deve ser atualizado para que seja verificada a possibilidade de transferência de volume entre os tanques TS2 e TE2. Encontrado o valor dessa transferência, acrescenta-se ao valor de aptidão do indivíduo o custo dessa transferência. Após isso, o estoque desses dois tanques deve ser atualizado para que seja verificada a possibilidade de transferência entre os tanques TS3 e TE3, e, assim, sucessivamente, até a n-ésima vez, com os tanques TSn e TEn.

Executadas todas as ações de transferências possíveis, entre tanques de saída e entrada que fazem parte dessa solução, deve-se verificar em primeiro lugar quais desses tanques, pertencentes ao perímetro aduaneiro da companhia, não ficaram vazios e passaram a ter disponibilidade para receber volume de óleo bombeado diretamente do navio de carga, constituindo-se assim uma primeira etapa de descarga. Para que esses bombeamentos possam ser realizados de imediato, as disponibilidades se estabelecem mediante o atendimento de todas as restrições e limites físicos do negócio. Uma vez feita a descarga dos navios para os tanques disponíveis sob essas condições, restando ainda volume de óleo no navio de carga e tanques vazios que pertençam ao perímetro aduaneiro da companhia, deve-se iniciar uma nova etapa de descarga, bombeando-se o tipo de óleo com maior volume ainda no navio para o maior tanque vazio e, assim, sucessivamente. Para cada bombeamento deve ser acrescentado ao valor de aptidão do indivíduo o custo de limpeza do tanque, quando for o caso.

Ao final desse processo, restando-se ainda óleo no navio, essa solução deve ser penalizada acrescentando-se ao valor de aptidão do indivíduo um valor substancial financeiro, diretamente proporcional ao volume pendente no navio.

## **2.6. Arquitetura da Solução**

Suponhamos que uma fábrica de lubrificantes tenha comprado volumes de diferentes tipos de óleo e exista uma data prevista para a chegada do navio de carga, que está transportando todos esses produtos. Não havendo espaço disponível nos tanques da companhia para receber todos esses volumes adquiridos, através de bombeamento pelas linhas de conexão do píer da empresa para estes tanques, a solução desse problema pode ser dividida em 9 etapas:

- 1) Atualização do estoque atual, dado o consumo previsto

Feita uma estimativa de consumo dos volumes armazenados nos tanques da companhia até a data prevista de chegada do navio, é preciso que o estoque atual de cada óleo nos tanques seja diminuído desses volumes estimados para que esse saldo seja utilizado como estoque inicial.

- 2) Avaliação de uma solução produzida pelo algoritmo genético (AG)

Estão previstas “n” transferências de volume de óleos entre tanques da companhia, aptos a armazenar óleos básicos. Assim, para que seja

produzida uma solução para o problema, devem ser selecionados entre os tanques disponíveis da companhia: “n” tanques de saída e “n” tanques de entrada. Nessa solução, cada tanque de saída tem um tanque de entrada relacionado, ambos objetos principais para a possível realização de cada uma das “n” transferências da solução proposta. Todo o processo de seleção de tanques de entrada e saída para a produção de uma nova solução, ou indivíduo, é feito através de algoritmos genéticos.

### 3) Verificação das transferências possíveis da solução proposta

Dado um tanque de saída, é preciso verificar se este tanque tem volume armazenado que possa ser transferido. Dado o tanque de entrada, que se vincula ao tanque de saída para formar uma das “n” transferências, é preciso checar, descontando-se o volume nele contido, quanto de volume este tanque está ainda capacitado a receber. Além disso, como tipos de óleo diferentes não podem ser misturados, o tipo de óleo que será transferido do tanque de saída deve ser exatamente o mesmo que esteja contido no tanque de entrada, obviamente, caso ele não esteja vazio. Sendo atendidas essas condições básicas e restrições de conteúdo para tanques que ficaram vazios, o volume a ser transferido é o mínimo entre o volume de óleo contido no tanque de saída e a disponibilidade de recebimento do tanque de entrada.

### 4) Cálculo cumulativo do valor de cada transferência entre os tanques

Para cada transferência realizável entre tanques de entrada e de saída pertencentes à solução proposta, é preciso calcular o custo de cada uma delas, acumulando-as em um custo total da solução proposta. O cálculo é feito consultando-se uma tabela da empresa, por volume transferido, que é dependente da classificação dos tipos de tanque de entrada e de saída em relação a transferências. Para cada relação de transferência de volume estabelecida da forma como estão classificados esses dois tanques, há preços definidos para: energia elétrica, quando a transferência é feita pelas linhas de transmissão da empresa; e uso de caminhão, quando os volumes são transferidos por meio de caminhões-tanque. Além disso, deve-se acrescentar ao valor da transferência o custo da limpeza do tanque de entrada que estiver vazio e vai receber do tanque de saída um volume de óleo com classificação de densidade diferente do último óleo que esteve contido no tanque de entrada, agora vazio.

5) Atualização do estoque nos tanques após cada transferência

Feita uma primeira transferência, é necessária a atualização do estoque do tanque de entrada e do tanque de saída para que a próxima transferência estabelecida pela solução possa se basear nos novos valores de estoque para checar a possibilidade de sua realização.

6) Bombeamento imediato dos volumes do navio para tanques não vazios

Após a realização de todas as transferências possíveis na solução proposta, cada tanque que fez parte dessas transferências estará com o estoque alterado. Espera-se, com isso, que o armazenamento dos óleos tenha sido otimizado e novos espaços tenham sido abertos para recepção dos óleos adquiridos. Assim, o sistema proposto deve checar quais volumes de óleo contidos no navio de carga podem ser imediatamente bombeados para tanques com disponibilidade de recepção. Além das restrições de transferência de caráter estratégico ou situacional, esses tanques devem fazer parte do perímetro aduaneiro da empresa e conter em seu interior os mesmos óleos que se pretenda transferir.

7) Escolha de tanques vazios para receber volumes pendentes dos navios

Havendo ainda no navio de carga estoque de óleo pendente de entrega e tanques vazios que estejam localizados no perímetro aduaneiro da empresa, os tipos de óleo com maior volume pendente devem ser bombeados para o tanque vazio de maior capacidade e assim sucessivamente. Todavia, cada uma dessas operações pode gerar ao custo total da solução proposta um acréscimo referente ao valor de limpeza dos tanques, quando óleo a ser recebido tiver classificação de densidade diferente do anterior.

8) Penalização da solução proposta caso admita pendências no navio

Ao final de todos os procedimentos possíveis de bombeamento de volumes de óleo do navio de carga para os tanques da companhia, se houver ainda óleo adquirido no navio pendente de entrega significa que a solução proposta não é suficiente para resolver o problema em definitivo, que é receber todos os volumes de óleo que estão sendo entregues pelo navio de carga. Sendo assim, torna-se necessário fixar uma penalidade bastante alta para a solução proposta. Esta penalidade é um valor financeiro pré-estabelecido, proporcional ao volume pendente de entrega, que deve ser acrescentado ao



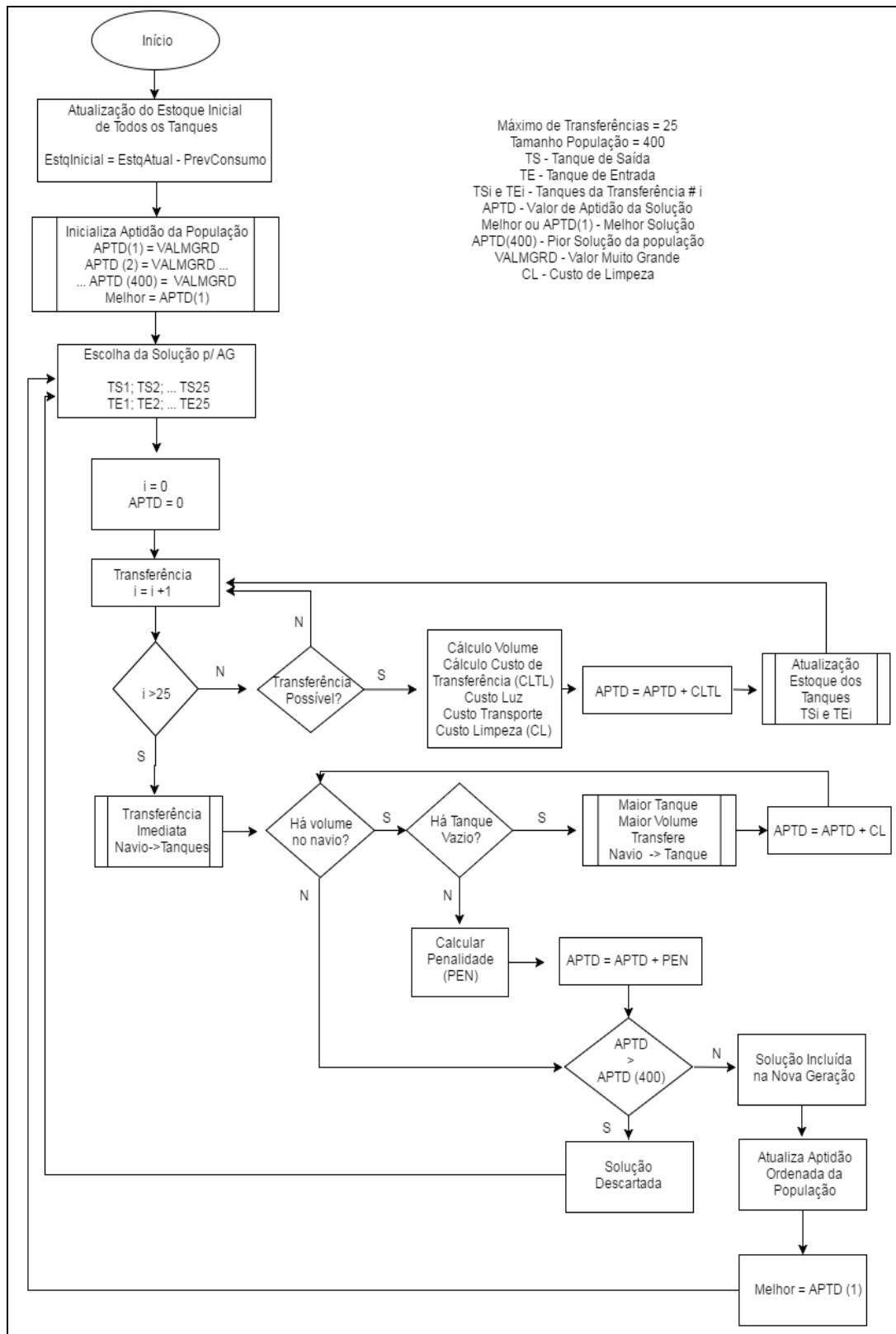
custo total da solução proposta. O resultado dessa soma representa a medida de aptidão desta solução.

#### 9) Retornar o procedimento

Cada solução ou indivíduo com a sua medida de aptidão é incluído na população da geração que está sendo criada ou simplesmente descartado. Essa decisão é tomada de acordo com o processo de seleção de novos indivíduos, estabelecido por parâmetros pré-definidos para o funcionamento do algoritmo genético. A solução ou indivíduo que tiver como medida de aptidão o menor custo financeiro é a melhor solução obtida até o momento. Continuando a busca por uma solução cada vez melhor, deve-se retornar a etapa número 2 (dois), considerando-se que a primeira etapa precisa ser feita apenas uma vez.

Obs.: Um fluxograma que esquematiza a arquitetura da solução pode ser verificado na página seguinte. Para facilitar a sua confecção foi necessário fixar: o número máximo de transferências por solução (25) e o tamanho da população (400). Além disso, para auxiliar a compreensão desse fluxograma, tornou-se necessário acrescentar algumas passos específicos do funcionamento dos algoritmos genéticos.

## Arquitetura da Solução - Fluxo Esquemático



### **3. RESULTADOS**

A construção desse modelo de solução, baseada no uso de algoritmos genéticos, foi motivada devido a dificuldades enfrentadas por empresas que têm em seus tanques produtos líquidos estocados e estão prestes a receber novos volumes. Para avaliar a eficácia desse modelo, foi desenvolvido um sistema que pudesse ser testado na resolução de um problema proposto, que foi criado com base em uma situação real vivida por uma fábrica de lubrificantes.

#### **Problema proposto**

Uma companhia fabricante de lubrificantes que possui 39 tanques de diversas capacidades, contendo diferentes tipos de óleos básicos com variados níveis de estoque, adquiriu volume de 2 tipos de óleo que serão entregues no píer da empresa em data preestabelecida, por navio de carga. Como os óleos básicos não podem ser misturados, o estoque atual de cada óleo básico nos tanques pertencentes ao perímetro aduaneiro da companhia impossibilita o armazenamento imediato desse volume adquirido. Sendo assim, conhecendo-se o consumo de óleo básico pela empresa até a data estipulada de entrega, as formas e custos de transferências de volume entre seus tanques e, ainda, as restrições de estocagem estratégicas, sugerir um conjunto de transferências de volume entre seus tanques, com menor custo possível, de tal modo que passe a existir disponibilidade de estocagem dos volumes adquiridos na data de entrega.

Abaixo, os dados do problema:

- Na tabela A, em anexo, pode-se verificar por tanque: o código do tanque; sua capacidade em litros; sua classificação para transferência; o código do óleo nele contido; seu saldo atual em litros; e se o tanque está reservado para o código de óleo nele contido.
- Na tabela B, em anexo, pode-se verificar por código de óleo: se o óleo tem como característica a viscosidade alta, o volume a ser consumido até a data de chegada do navio; e o volume que será entregue pelo navio.
- Na tabela C, em anexo, pode-se verificar por código de transferência: a vazão média de transferência (entre tanques e/ou entre tanques e caminhões-tanque); o custo de energia por hora; e o custo de transporte via caminhão-tanque por m<sup>3</sup>.

Obs.: O código de transferência da tabela C possui 4 dígitos e é formado pelas 2 letras que correspondem à classificação para transferência do tanque de saída, acrescidas às 2 letras da classificação para transferência do tanque de entrada

“cód. transferência” = “classif. tanque de saída”\_”classif. tanque de entrada”

## **Sistema e parâmetros utilizados nos testes**

Para que fossem obtidos resultados que demonstrem a eficácia dessa forma de solucionar uma aparente impossibilidade de armazenamento de grande volume de líquidos adquiridos, entregues por navios de carga, foi desenvolvido um sistema em EXCEL, de fácil utilização, com o objetivo de conter todos os dados básicos e operacionais de uma empresa de lubrificantes fictícia, efetuar os controles necessários para que ações sugeridas pelo sistema atendessem às restrições impostas pelo negócio e, com isso, minimizar o espaço de busca. A escolha do EXCEL, como base de dados do sistema proposto, deveu-se ao fato de que, com esse software, seria possível implementar um software complementar (EVOLVER – Palisade Corporation) que gerasse inúmeras soluções, através de algoritmos genéticos, tornando-as cada vez mais eficazes com o tempo de processamento.

Inúmeros testes foram realizados com o sistema desenvolvido com a intenção de que o problema fosse resolvido no menor tempo possível e oferecesse soluções aplicáveis de imediato. Para modelar o problema visando à utilização de algoritmos genéticos, foi necessário inicialmente estabelecer para uma possível solução a quantidade máxima de transferências entre tanques, isto é, o número de genes de cada cromossomo do indivíduo. Como cada indivíduo possui um cromossomo denominado tanque de saída e outro denominado tanque de entrada, a fixação do número máximo de transferências passa a determinar o tamanho de cada cromossomo, isto é, quantos genes eles possuem.

No problema proposto, a companhia fictícia possui um parque com 39 tanques de diversas capacidades e localizações que estão aptos a armazenar 20 tipos de óleos básicos, e livres para realizar transferências entre eles, mas com restrições de caráter estratégico ou de conteúdo. Para essa situação, o número de transferências máximo foi fixado em 25, fazendo com que os cromossomos tanque de saída e tanque de entrada tivessem 25 genes, numerados de 1 a 25. Com isso, os genes de número “t” dos cromossomos tanque de saída e tanque

de entrada representariam a transferência de número “t”. Sendo um parque com 39 tanques, os genes de cada cromossomo foram definidos como variáveis inteiras. Portanto, os alelos dos genes do cromossomo tanque de saída poderiam variar de 1 a 39, e os do tanque de entrada de 0 a 39. Essa inclusão de mais uma opção para o tanque de entrada auxilia o algoritmo a encontrar soluções melhores, ou de menor custo, pois quando o gene número “g” do cromossomo tanque de entrada é igual a zero, a transferência de número “g” não é realizada.

A avaliação de cada indivíduo pode ser considerada inicialmente como o somatório dos custos de realização de cada uma das ações de transferências, que são parte da solução. Contudo, como o resultado de todas essas ações deve implicar no recebimento de todos os produtos líquidos que estão sendo entregues pelo navio de carga, uma solução que não cumpra essa restrição deve ter a sua avaliação acrescida de uma penalidade financeira substancial. Isso corrobora o fato de que a melhor solução para o problema proposto é aquela cujo valor de avaliação (custo) é o menor possível. Assim, o objetivo de otimização do algoritmo genético do software utilizado é encontrar o valor mínimo.

Como a programação dos algoritmos genéticos fazem parte do software EVOLVER (versão 5.5), foi preciso selecionar um parâmetro básico do software: método de resolução. Entre as opções oferecidas, não foi difícil identificar o método ideal: *recipe* (receita). Segundo o manual do usuário do software, este método faz com que o algoritmo tente encontrar a melhor “mistura de uma receita”, alterando o valor de cada um dos parâmetros variáveis (alelo dos genes) que formam um indivíduo, tratando cada um deles de maneira independente. Como não há relação de dependência entre os genes de cada cromossomo de um indivíduo, esse procedimento é exatamente o que desejamos que seja feito.

Na versão utilizada para os testes, o EVOLVER não apresenta opções para alterar o operador de seleção. Segundo o manual do software, o processo de seleção é feito da seguinte maneira: “Quando um novo indivíduo está para ser criado, dois progenitores são escolhidos de uma população. Indivíduos que têm alta aptidão têm mais chances de serem escolhidos como pais. No EVOLVER, progenitores são escolhidos de acordo com um mecanismo de ranking. Diferente de alguns sistemas de algoritmos genéticos, em que a probabilidade de pais

serem selecionados é diretamente proporcional à sua aptidão, um método de ranking fornece uma curva de probabilidade de seleção mais suave”. Ou seja, o operador de seleção utilizado pelo software é a roleta ponderada.

Em relação aos demais parâmetros específicos de algoritmos genéticos, as definições que produziram a melhor solução (R\$ 72,99) para o problema proposto, utilizando-se do mesmo conjunto inicial de soluções, foi a seguinte:

- Tamanho da população: 400
- Taxa de *crossover*: 70 %
- Taxa de mutação: 20 %

Com os parâmetros acima, o tempo de processamento para encontrar uma solução com custo de R\$ 72,99 foi de 3h16m24 (tabelas D, E e F, em anexo). Entretanto, com uma população de 500 indivíduos, em 1h48m48, o sistema chegou a uma solução de R\$ 73,00, cujo processo de evolução pode ser observado nas tabelas G e H. A diferença básica entre essas duas soluções reside no fato de que a solução encontrada mais rapidamente propunha a realização de três transferências de um mesmo tanque de saída, obviamente para três tanques diferentes de entrada, em vez de apenas uma transferência para um tanque de entrada. O curioso é que mesmo estando a melhor solução aparentemente tão próxima, o algoritmo não conseguiu achá-la com 1 h e meia a mais de processamento. Em contrapartida, em um teste com uma população menor, com 300 indivíduos, o algoritmo encontrou esta melhor solução com 30 minutos a mais de processamento. O quadro abaixo apresenta os resultados principais observados:

População	Tempo	Melhor Solução	Melhor Solução até 3h16m24
200	R\$ 111,81	3h19m37	R\$ 112,23
300	R\$ 72,99	3h44m06	R\$ 95,80
400	R\$ 72,99	3h16m24	R\$ 72,99
450	R\$ 73,24	3h06m52	R\$ 73,24
500	R\$ 73,00	1h48m48	R\$ 73,00
700	R\$ 95,80	51m20	R\$ 95,80

Obs.: Os testes aqui indicados foram interrompidos quando o tempo de processamento ultrapassou 3h45m ou quando a melhor solução encontrada até aquele momento estava com custo de R\$ 72,99.

Sem que fosse mantido necessariamente o mesmo conjunto de soluções iniciais (semente) outros testes foram realizados com 200, 135 e 100 indivíduos, e as mesmas taxas de *crossover* e de mutação. Apesar de o sistema proposto ter oferecido soluções relativamente razoáveis em até 40 minutos, o algoritmo não foi capaz de chegar próximo à melhor solução mesmo esticando-se o tempo de processamento em até 6 horas. Isso sugere que uma maior diversidade de genes, propiciada por um tamanho maior de população, auxilia bastante na resolução desse problema específico, pois melhores soluções são encontradas com maior rapidez.

Para escolher os parâmetros taxa de *crossover* (70 %) e de mutação (20 %) para o problema proposto e fixá-los, inúmeras simulações foram feitas para situações diversas de recebimento marítimo. Esses testes indicaram que essas taxas tinham a tendência de proporcionar convergências mais rápidas e soluções com números de transferências menores. Por exemplo, para testes realizados com população de 100 indivíduos e taxa de *crossover* igual a 70 %, taxas de mutação muito baixas prejudicavam a evolução dos indivíduos. De alguma forma a convergência era obstruída, principalmente porque o algoritmo levava muito tempo para eliminar transferências circulares de suas melhores soluções, isto é, aquelas em que, por exemplo, o tanque A transferia um determinado volume para o tanque B e, em seguida, o tanque B transferia o mesmo volume de volta para o tanque A. Apesar de ter sido apenas uma observação e, por isso, trata-se apenas de uma heurística, com taxa de mutação igual a 20 % soluções que apresentavam transferências circulares, na maioria das vezes, tinham estas transferências excluídas com rapidez.

## 4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

As soluções sugeridas para o problema proposto demonstram que companhias que precisam constantemente liberar espaço em seus tanques para receber volumes líquidos por meio de entregas marítimas podem encontrar alternativas rápidas e bastante eficazes com uma modelagem baseada em algoritmos genéticos. No entanto, os testes realizados sugerem que o tamanho da população e o número de transferências possíveis aparentam ser dependentes do número de tanques disponíveis para realizar transferências no momento da chegada do navio. Um estudo mais aprofundado poderia identificar o relacionamento entre esses parâmetros e o número de tanques, viabilizando assim o desenvolvimento de uma ferramenta de otimização que traduzisse essa relação de forma automática. Dessa forma, qualquer técnico de nível médio poderia utilizar essa ferramenta com relativa facilidade.

A continuação natural desse projeto seria aumentar o poderio dessa ferramenta encontrando soluções de maior abrangência, propondo também o consumo mínimo de óleos estocados até a data de entrega de novos volumes, caso a sugestão de remanejamento do conteúdo nos tanques não seja suficiente para abrir espaço para o completo recebimento marítimo. No caso de uma fábrica de lubrificantes, por exemplo, em que a revenda de óleos básicos não é o foco principal de comercialização da empresa, essa solução poderia inclusive sugerir alterações na programação de produção visando à antecipação de lotes de fabricação de seus produtos principais, cuja melhor seleção e quantidade ótima, ou quase ótima, seriam também propostas por meio de algoritmos genéticos. Além de levar em conta, o nível de estoque nos tanques, essa escolha seria feita com base na composição de óleos básicos de seus componentes, na capacidade diária de produção, limites de armazenamento dos produtos fabricados e expectativa de comercialização desses produtos pela empresa.



## Referências Bibliográficas

BÄCK, T., FOGEL, D. B., MICHALEWICZ, Z. *Evolutionary Computation 2: Advanced Algorithms and Operators*, Bristol, UK, Institute of Physics, 2000.

BÄCK, T., SCHWEFEL, H. P. *An Overview of Evolutionary Algorithms for Parameter Optimization*. *Evolutionary Computation*, v. 1, n. 1, p. 1-23. The MIT Press, 1993.

BARBOZA, A. O. *Simulação e técnicas da computação evolucionária aplicadas a problemas de programação linear inteira mista*. 2005. 217 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005

COELHO, L. S., COELHO, A. A. R. *Algoritmos Evolutivos em Identificação e Controle de Processos: Uma Visão Integrada e Perspectivas*. *SBA Controle & Automação*. V.10, n.01, p.13-30, 1999.

DARWIN, C. *The Origin of Species*. Fac-Simile da edição original - Charles W. Eliot, L. L. D., 1981.

DIAS, D. M. *Aplicação de Algoritmos Genéticos no Scheduling Automático e Otimizado do Petróleo em Refinarias*. Relatório de Estudo Orientado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

FALCÃO, A. O., BORGES, J. G. *Designing an Evolution Program for Solving Integer Forest Management Scheduling Models: an Application in Portugal*. *Forest Science*, v. 47, n. 2, p. 158-168, 2001.

GEN, M. e CHENG, R. *Genetic Algorithms & Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.

GOLDBARG, M. C., LUNA, H. P. L. *Otimização Combinatória e Programação Linear. Modelos e Algoritmos*. Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

HOLLAND, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, 2 ed., The University of Michigan Press, MI, 1975.

LEIRAS, A. *Otimização de Parâmetros de um Algoritmo Genético*, *Inteligência Computacional Aplicada*, n.6, 2010

MAYERLE, S. F. Um Algoritmo Genético para Solução do Problema do Caixeiro Viajante. Artigo de circulação interna do departamento de Engenharia de Produção e sistemas da UFSC, 1994.

MIRANDA, M. N. Algoritmos Genéticos: Fundamentos e Aplicações. [Online]. [<http://www.gta.ufrj.br/~marcio/genetic.html>], 03 de março, 2005.

MITCHELL, M. An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press, Massachusetts, London, England, 1996.

PACHECO, M. A. C., VELLASCO, M. M. B. R. e LOPES, C. H. 'Descoberta de Conhecimento e Mineração de Dados', PUCRio, Departamento de Engenharia Elétrica, 1999.

REEVES, C. R. Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems, McGraw-Hill Book Company, London, 1995.

TANOMARU, J. Motivação, Fundamentos e Aplicações de Algoritmos Genéticos. II Congresso Brasileiro de Redes Neurais - III Escola de Redes Neurais, p. 373-403, 1995.

## A) Estoque em litros nos tanques disponíveis para transferências

Tanque	Capacidade	Tipo Tanque	Óleo	Saldo Atual	Óleo Fixado
T502	3.055.000	CS	B03	2.414.966	
T505	1.501.500	CS	B06	1.462.461	SIM
T506	1.420.800	CS	B14	1.083.979	
T507	1.488.100	CS	B15	1.318.981	
T508	1.400.900	CS	B15	1.232.824	
T511	1.517.000	CS	B14	1.144.586	
T512	1.495.800	CS	B01	1.002.074	SIM
T519	774.500	CS	B17	541.518	SIM
T523	9.259.000	TS	B02	7.290.902	
T524	1.301.000	ES	B08	1.052.952	
T525	244.250	ES	B17	244.250	
T526	8.132.000	TS	B06	8.132.000	
T527	711.477	ES	B17	711.477	
T528	2.072.000	ES	B01	493.616	SIM
T529	5.614.000	TS	B05	657.296	
T530	8.000.000	TT	B01	1.391.828	
T531	611.000	ES	B20	467.865	
T532	524.000	ES	B17	213.501	
T534	718.000	TS	B16	400.861	
T537	719.000	TS	B18	542.253	
T542	144.100	CN	B09	55.730	
T543	142.200	CN	B07	57.210	
T544	141.400	CN	B11	54.827	
T550	36.000	CN	B18	22.512	
T552	54.900	CN	B10	17.444	
T553	94.600	CN	B08	47.425	
T559	275.000	EN	B04	48.585	
T560	279.000	EN	B13	220.036	
T563	169.015	EN	B17	169.015	
T564	163.000	EN	B20	160.000	
T565	250.000	EN	B18	145.288	
T567	285.000	EN	B17	113.283	
T568	527.000	EN	B16	419.579	
T570	759.252	RN	B19	536.225	
T571	1.042.113	RN	B09	435.410	
T572	1.708.258	RN	B07	15.605	
T573	2.315.062	RN	B14	879.214	
T574	303.700	RN	B04	303.700	
T576	1.057.421	RN	B12	339.693	

Obs.1: Tanques classificados com o tipo de tanque "RN" não pertencem ao perímetro aduaneiro da empresa.

Obs.2: Tanques que são classificados com tipos de tanques que têm a letra "N" em seu segundo dígito não têm conexão com o píer da companhia.

## B) Consumo até a data e volume adquirido no navio (litros)

Óleo	Viscosidade	Consumo	Navio
B01		0	
B02	ALTA	420.000	
B03	ALTA	0	
B04		0	
B05		0	
B06		0	
B07		145.000	
B08		0	
B09		0	
B10		0	
B11		0	
B12		0	
B13		300.000	
B14		225.000	1.780.000
B15		300.000	1.800.000
B16		600.000	
B17		0	
B18		0	
B19		0	
B20		0	

Obs.1: A coluna Óleo contém o código do óleo

Obs.2: A coluna Viscosidade com conteúdo ALTA significa dizer que tanques classificados para transferência como "EN" não podem conter esses óleos. Por serem muito viscosos, a bomba propulsora não tem potência para bombeá-los.

Obs.3: A coluna Consumo significa o volume em litros de cada tipo de óleo que será utilizado pela empresa na fabricação de produtos ou revendido até a data de chegada do navio.

Obs.4: A coluna Navio significa o volume em litros de cada tipo de óleo que foi adquirido pela empresa e será entregue no píer da companhia em data acordada.

Obs.5: Todos os óleos dessa tabela têm a mesma classificação em relação à densidade. Portanto, o custo de limpeza, em relação aos tanques que ficaram vazios, não precisa ser considerado.

### C) Tabela de custos de transferências

Transf	Vazão (m3/h)	EE/h (R\$)	Cam/m3 (R\$)
CSCS	100,000	2,45	-
CSCN	100,000	2,45	-
CSTS	100,000	2,45	-
CSTT	100,000	2,45	-
CSES	22,105	2,45	22,00
CSEN	22,105	2,45	22,00
CSRN	25,714	2,45	44,00
CNCS	100,000	2,45	-
CNCN	100,000	2,45	-
CNTS	22,105	2,45	22,00
CNTT	0,000	-	-
CNES	22,105	2,45	22,00
CNEN	22,105	2,45	22,00
CNRN	25,714	2,45	44,00
TSCS	85,000	2,45	-
TSCN	22,500	2,45	22,00
TSTS	40,000	2,45	-
TSTT	40,000	2,45	-
TSES	40,000	2,45	-
TSEN	40,000	2,45	-
TSRN	22,500	2,45	44,00
TTCS	85,000	2,45	-
TTCN	0,000	-	-
TTTS	40,000	2,45	-
TTTT	40,000	2,45	-
TTES	40,000	2,45	-
TTEN	40,000	2,45	-
TTRN	0,000	-	-
ESCS	22,500	2,45	22,00
ESCN	22,500	2,45	22,00
ESTS	40,000	2,45	-
ESTT	40,000	2,45	-
ESES	40,000	2,45	-
ESEN	40,000	2,45	-
ESRN	22,500	2,45	44,00
ENCS	22,500	2,45	22,00
ENCN	22,500	2,45	22,00
ENTS	40,000	2,45	-
ENTT	40,000	2,45	-
ENES	40,000	2,45	-
ENEN	40,000	2,45	-
ENRN	22,500	2,45	44,00
RNCS	25,714	2,45	44,00
RNCN	25,714	2,45	44,00
RNTS	22,105	2,45	44,00
RNTT	0,000	-	-
RNES	22,105	2,45	44,00
RNEN	22,105	2,45	44,00
RNRN	60,000	2,45	22,00

Obs.: A tabela acima considera que, independente do óleo a ser transferido entre tanques, os custos são os mesmos.

Transf.: Tipo de transferência entre os tanques

Vazão (m3/h): Vazão média de transferência de todo o processo em m3/hora

EE/h (R\$): Custo de energia elétrica por hora

Cam/m3: Custo de caminhão-tanque por cada m3 de óleo transportado

## D) Solução do problema (transferências e descarga)

### Transferências entre tanques

# Transferência	Tanque Saída	Tanque Entrada	Volume (l)	Óleo	Custo (R\$)
1	T534	T568	100.861	B16	6,1777
2	T529	T534	657.296	B05	40,2594
3	T506	T529	1.083.979	B14	26,5575

Total	72,99
-------	-------

# Transf.: Ordem de realização das transferências entre os tanques para solução do problema.

Tanque Saída: Código do Tanque de Saída

Tanque de Entrada: Código do Tanque de Entrada

Volume (l): Volume a ser transferido em litros

Óleo: Código do óleo Transferido

Custo: Custo para realização da transferência

Total: Custo para realização de todas as transferências da solução

### Descarga (transferência do navio para tanques)

Básico	Compra (l)	# Tanques				Total
B14	1.800.000	2	T529	T511		
		Disponibilidade (l)	4.530.021	372.414		4.902.435
B15	1.780.000	3	T507	T506	T508	
		Disponibilidade (l)	394.119	1.217.805	168.076	1.780.000

Básico: Código do óleo básico adquirido.

Compra (l): Volume de óleo adquirido.

# Tanques: Número de tanques disponíveis para receber os produtos adquiridos.

Total: Total de disponibilidade dos tanques disponíveis para o recebimento do óleo.

Obs.1: Os tanques T529 e T511 são opções para o recebimento do volume do óleo B14.

Obs.2: Os tanques T507, T506 e T508 são as opções de recebimento do volume do óleo B15.

## E) Evolução de aptidão dos indivíduos (População = 400)

### Evolver: Log of Progress Steps

Performed By: Cylan

Date: terça-feira, 24 de maio de 2016 16:41:36

Model: Tank20b.xlsx

Trial	Elapsed Time	Result
2	00:00:02	1.539.046.666,67
3	00:00:03	816.451.097,95
6	00:00:04	753.375.213,89
8	00:00:04	43.713,80
39	00:00:08	31.509,71
246	00:00:33	30.293,64
508	00:01:07	1.727,31
635	00:01:24	1.719,07
643	00:01:25	953,16
719	00:01:36	930,47
774	00:01:44	210,39
789	00:01:46	190,02
1349	00:03:07	173,77
1363	00:03:09	149,29
1391	00:03:13	146,97
1615	00:03:46	142,85
1668	00:03:54	127,89
3888	00:09:21	126,77
10072	00:25:16	112,93
10409	00:26:10	111,81
15877	00:42:12	111,81
44303	02:02:28	95,80
72657	03:16:24	72,99

## F) Dados Básicos do Processo (População = 400)

### Evolver: Optimization Summary

**Performed By:** Cylan

**Date:** terça-feira, 24 de maio de 2016 16:41:36

**Model:** Tank20b.xlsx

Goal	
Cell to Optimize	Oper!\$L\$115
Type of Goal	Minimum

<b>Results</b>	
Valid Trials	75080
Total Trials	75081
Original Value	N/A
+ soft constraint penalties	N/A
= result	N/A
Best Value Found	72,99
+ soft constraint penalties	-
= result	72,99
Best Simulation Number	72657
Time to Find Best Value	3:16:24
Reason Optimization Stopped	Stop button pressed
Time Optimization Started	24/05/2016 13:19
Time Optimization Finished	24/05/2016 16:41
Total Optimization Time	3:22:19

<b>Adjustable Cells</b>	
Description	
Solving Method	Recipe
Mutation Rate	0,2
Crossover Rate	0,7

<b>Optimization Settings</b>	
General	
Population Size	400
Optimization Random Number Seed	151289849



## G) Evolução da aptidão dos indivíduos (População = 500)

### Evolver: Log of Progress Steps

**Performed By:** Cylan

**Date:** terça-feira, 24 de maio de 2016 20:05:50

**Model:** Tank20b.xlsx

Trial	Elapsed Time	Result
2	00:00:02	1.475.980.002,32
3	00:00:02	816.451.097,95
6	00:00:03	753.375.213,89
8	00:00:03	43.713,80
39	00:00:07	31.509,71
246	00:00:34	30.293,64
536	00:01:16	27.301,93
565	00:01:20	111,81
17768	00:45:10	95,80
42341	01:48:48	73,00

## H) Dados Básicos do Processo (População = 500)

### Evolver: Optimization Summary

**Performed By:** Cylan

**Date:** terça-feira, 24 de maio de 2016 20:05:49

**Model:** Tank20b.xlsx

Goal	
Cell to Optimize	Oper!\$L\$115
Type of Goal	Minimum

Results	
Valid Trials	77389
Total Trials	77390
Original Value	N/A
+ soft constraint penalties	N/A
= result	N/A
Best Value Found	73,00
+ soft constraint penalties	-
= result	73,00
Best Simulation Number	42341
Time to Find Best Value	1:48:48
Reason Optimization Stopped	Stop button pressed
Time Optimization Started	24/05/2016 16:48
Time Optimization Finished	24/05/2016 20:05
Total Optimization Time	3:17:04

Adjustable Cells	
Description	
Solving Method	Recipe
Mutation Rate	0,2
Crossover Rate	0,7

Optimization Settings	
General	
Population Size	500
Optimization Random Number Seed	151289849